



ISSN 1607–2855

Том 6 • № 1 • 2009 С. 44 – 55

Тунгусскому феномену — 100 лет. Космическая угроза и способы защиты планеты

Л.Ф. Черногор

Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина

Кратко описаны эффекты пролетов Тунгусского тела, Сихотэ-Алинского метеорита и Витимского болида. Рассматриваются физические эффекты и экологические последствия столкновений Земли с астероидами и кометами. Анализируются способы защиты нашей планеты от угрозы из космоса.

ТУНГУСЬКОМУ ФЕНОМЕНУ — 100 РОКІВ. КОСМІЧНА ЗАГРОЗА ТА СПОСОБИ ЗАХИСТУ ПЛАНЕТИ, Черногор Л.Ф. — Коротко описані ефекти прольотів Тунгуського тіла, Сіхоте-Алінського метеорита та Витимського болида. Розглядаються фізичні ефекти та екологічні наслідки зіткнень Землі з астероїдами та кометами. Аналізуються способи захисту нашої планети від загрози із космосу.

CENTENARY OF TUNGUSKA PHENOMENON. SPACE THREAT AND METHODS OF PLANETARY PROTECTION, by Chernogor L.F. — The effects of flyby of Tunguska meteorite, Sikhote-Alin meteorite and Vitim bolide are described. Physical effects and ecological implications of an impact between the Earth and asteroids or comets are considered. Methods of planetary protection from space threat are analyzed.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ровно сто лет назад в июне 1908 г. произошло событие, которое могло круто изменить историю нашей цивилизации. В атмосферу Земли на большой скорости врезалось космическое тело огромных размеров. Не долетев до поверхности Земли, оно взорвалось в нижней атмосфере. Взрывная волна вывалила лес на площади более 2 тыс. км². Сгорело около 250 км² тайги. Запоздай космическое тело, получившее название Тунгусского метеорита, на четыре-пять часов (на мгновение по космическим масштабам), взрыв произошел бы над Санкт-Петербургом — столицей Российской империи. Погибли бы около 2 млн. человек. Скорее всего, погибла бы царская фамилия, правительство, чиновники и т.д. Случись это, разразилась бы Первая мировая война? Грянула бы Октябрьская революция? Появился бы Советский Союз? Развязали бы Вторую мировую войну? Кто бы стал победителем? Риторические вопросы можно задавать и далее. А ответ один. Произойди эта катастрофа над российской столицей, скорее всего, история мировой цивилизации пошла бы по другому пути. Как говорят физики, а за ними и философы, историческая линия испытала бы бифуркацию, т.е. раздвоение, приводящее к качественным изменениям (см., например, [25, 26]).

Как часто случаются подобные катастрофы? Какова их природа? Насколько ужасны их последствия? Можно ли их предотвратить? Что для этого нужно сделать?

Попытаемся ответить на эти непростые и совсем не праздные вопросы.

Целью настоящей работы является научно-популярное изложение общих сведений о космических странниках и примеров бомбардировки Земли из космоса, а также обсуждение способов и средств защиты планеты от космической угрозы.

2. КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛА

Метеороиды. Метеоры. Болиды. Под метеором понимается явление, возникающее при вторжении небольшого космического тела в атмосферу, и связанные с ним процессы [4]. Само тело именуется метеороидом. Упавший на земную поверхность метеороид называется метеоритом. Достаточно крупные (обычно диаметром 1–10 м) и очень ярко светящиеся метеорные тела вызывают явление, называемое болидом [4, 21, 29, 31].

Метеороиды могут вторгаться потоками или по одному. В этих случаях говорят о метеорных потоках или спорадических метеорах. Метеорных потоков известно около трех десятков. Поток Леонид — один из самых известных. Он наблюдается ежегодно в конце второй декады ноября.

Размер метеороидов изменяется в широких пределах: от 10⁻⁵ м до ~10 м. Плотность вещества составляет 1–8 т/м³. Масса метеорных тел находится в пределах 10⁻¹²–10⁶ кг, их скорость 11–73 км/с. По химическому составу метеориты делят на такие четыре класса:

– железные (плотность 7.7 т/м³);

- железо-каменные (плотность $4.7–5.6 \text{ т/м}^3$);
- каменные (плотность 3.5 т/м^3);
- углистые хондриты (плотность $2.0–2.5 \text{ т/м}^3$).

Около 93.2% метеоритов являются каменными, 5.4% — железными (точнее, железо-никелевыми) и 1.3% — железо-каменными (см., например, [33]).

Метеорные тела с относительно небольшими размерами и плотностями около 1 т/м^3 обычно не достигают поверхности Земли, полностью испаряясь в атмосфере. Это относится, прежде всего, к метеорным потокам и кометному веществу. От них в атмосферу Земли поступает около 40 кт вещества в год (110–120 тонн в сутки), из которых 0.1–1 кт может приходиться на органические соединения.

Общее число метеорных тел, вторгающихся в атмосферу Земли, примерно обратно пропорционально их массе. Поэтому большие метеориты падают реже, чем мелкие.

Физические процессы в атмосфере при торможении метеорных тел сводятся к сжатию и нагреванию газа до 10 тыс. градусов, генерации ударной волны (так как скорость звука значительно меньше скорости космического тела), оплавлению и разрушению самих метеорных тел, образованию длинного (10–20 км) светящегося следа. Чем больше масса метеорного тела, тем глубже он проникает в атмосферу, мелкие (до 0.1 м) тела сгорают в атмосфере полностью. Чем выше скорость тела, тем больше значения высот, на которых оно начинает тормозиться и угасать соответственно. В зависимости от скорости метеороида торможение имеет место в диапазоне высот 85–120 км, а угасание — 75–95 км.

Метеоры изучают, прежде всего, оптическими методами, а также при помощи метеорных радиолокаторов (радаров). Метеориты, как космические тела, тщательно изучаются в лабораториях.

Астероиды. К астероидам относят космические тела размером более 10 м. Число астероидов превышает многие сотни тысяч. Их диаметр изменяется от 10 м до 1000 км.

Откуда взялись астероиды? Эти космические тела зародились одновременно с планетами Солнечной системы. Они представляют собой как бы строительный материал для планеты земного типа, которая из-за возмущающего влияния Юпитера не сформировалась полностью между Марсом и Юпитером на расстоянии около 2.8 астрономических единиц (1 а.е. равна 150 млн. км). Эти астероиды входят в состав главного пояса астероида. Вместе с тем есть космические тела, которые не относятся к главному поясу астероидов. Астероиды представляют собой допланетное вещество. В этом, пожалуй, состоит их главная ценность для науки. Общая масса этих тел не превышает 0.001 массы Земли.

Вблизи Земли астероиды движутся со скоростями 12–20 км/с и обладают гигантским запасом кинетической энергии.

При вторжении в атмосферу космические тела тормозятся в ней, генерируют ударную волну и разрушаются. Существенное торможение имеет место тогда, когда масса вытесненного астероидом воздуха примерно сравняется с массой метеороида. Масса вытесненного воздуха зависит от угла вхождения астероида в атмосферу. Оказывается, в атмосфере Земли заметно тормозятся и разрушаются лишь космические тела с размером не более 10–100 м, астероид диаметром более 100 м пронизывает ее практически беспрепятственно.

Как показало изучение кратеров на Земле, куб интервала времени между двумя падениями астероидов примерно пропорционален квадрату их энергии. Например, космические тела диаметром около 10 км, способные привести к глобальной катастрофе, падают на Землю в среднем раз в 200 млн. лет. Имеются следы падений крупных астероидов на Землю: обнаружено более 100 кратеров — мест падения космических тел. Например, в Кировоградской области (Украина) обнаружен и изучен Болтышский кратер диаметром около 25 км, образовавшийся в результате падения астероида более 100 млн. лет назад.

Еще в 1980-х гг. американские геологи, проанализировав карту распределения плотности земной коры в Северной Америке, обнаружили следы гигантского доисторического кратера диаметром около 2800 км. Он простирается от северной части Гудзонова залива до южной части озер Мичиган и Гурон и от канадского Атлантического побережья до провинции Саскачеван. Площадь кратера в 10 раз превышает площадь Украины. Кратер возник около 4 млрд. лет назад. Диаметр космического тела, породившего кратер, составлял сотни километров. По-видимому, это наибольший из известных кратеров в Солнечной системе. В одном ряду с ним находится кратер на Луне диаметром 2500 км и глубиной 15 км. Он образован около 4 млрд. лет назад падением космического тела диаметром примерно 200 км.

Еще более интересным событием представляется падение на Землю астероида диаметром 5–10 км около 65 млн. лет назад. Скорее всего, в результате катастрофических последствий этого события вымерли динозавры, и существенно изменилась вся биосфера. На смену эре динозавров пришла эра млекопитающих, венцом которых стал человек разумный (*homo sapiens*).

Кометы. В переводе с греческого «комета» — «косматая» (планета). Кометы — космические тела, которые становятся наблюдаемыми при приближении к Солнцу. Комета состоит из небольших размеров плотного ядра, большой разреженной головы и длинного хвоста. Название «косматая» появилось именно благодаря наличию хвоста. Его существование связано с давлением солнечного света на пылинки, молекулы газа и ионы, из которых состоит голова космического тела. Поэтому хвост преимущественно направлен от Солнца. Кометы становятся ненаблюдаемыми за пределами орбиты Юпитера. По этой причине число комет неизвестно. Если раньше обнаружение новой кометы было редким событием, то в последнее время ежегодно открывают в среднем 100–200 комет. Их орбиты, как правило, эллиптические (при этом условии движение комет — периодическое), иногда параболические или, возможно, гиперболические. Наиболее известной периодической странницей является комета Галлея с периодом обращения 76 лет. Массы комет чаще всего составляют 10–1000 гигатонн (1 Гт — миллиард тонн).

Размер головы кометы может превышать размер Солнца, хвосты порой имеют длину более 1 а.е. Голова и хвост образованы газами и пылью.

Ядро — обычно цельное, а иногда состоит из глыб, камней, песчинок и пылинок, находящихся в обледенелом состоянии. Лед бывает водородного, кислородного, углеродного или азотного происхождения.

Столкновение ядра кометы с Землей приводит к эффектам аналогичным тем, что имеют место при столкновении планеты с астероидами. Пересечение Землей хвостов комет обычно опасности не представляет.

Комета Галлея последний раз приближалась к Земле в 1986 г. К ней было направлено пять космических аппаратов (два из них были сконструированы в СССР). Установлено, что размер ее ядра составляет около $6 \times 10 \times 15$ км.

3. ЭФФЕКТЫ ТУНГУССКОГО ТЕЛА

О Тунгусском чуде написано много строк (см., например, [5–7, 11, 12, 19]). Особое место занимает книга Н.В.Васильева [6]. Вот что о Тунгусском феномене рассказал очевидец (см., например, [26]): *«Вдруг очень сильно ударил гром. Это был первый удар. Земля стала дергаться и качаться, сильный ветер ударил в наш чум и повалил его. Тут я увидел страшное диво: лесины падают, хвоя на них горит. Жарко, очень жарко — сгореть можно. Вдруг над горой, где уже упал лес, стало сильно светло, будто второе солнце появилось...»*

Что же объективно известно об этом уникальном явлении природы?

30 июня 1908 г. в бассейне Подкаменной Тунгуски (Сибирь) произошло редкое событие, которое позже назвали Тунгусским метеоритом, а точнее Тунгусским феноменом. Оно сопровождалось оптическим, акустическим, сейсмическим, геомагнитным и биологическим эффектами. На высоте 7–8 км произошел взрыв, на большой площади был повален и частично сожжен лес. Вспышка света и звук фиксировались на расстоянии ~750 км, приборы в г. Потсдаме (Германия) зарегистрировали акустические волны, которые прошли расстояния 5 тыс. км (прямая волна) и 35 тыс. км (обратная волна). Ночное небо в Сибири и Европе было настолько светлым, что можно было читать книгу. Прозрачность атмосферы над США в июле–августе заметно снизилась. В Иркутске ($R \approx 900$ км) наблюдалась сильная сейсмическая волна от взрыва Тунгусского тела. Наконец, вариации геомагнитного поля фиксировались на расстояниях порядка 1 тыс. км и продолжались в течение 1–2 часов. Образцы предположительно вещества Тунгусского тела найдены в 60–70-е гг. XX века. Масса найденного вещества никак не соответствовала масштабам эффектов, масштабам катастрофы. Отсутствие остатков космического тела является одной из загадок Тунгусского феномена.

Тунгусский взрыв имел такие биологические последствия: в течение многих десятков лет наблюдался эффект ускоренного возобновления роста деревьев; частота мутаций у соснового молодняка увеличилась примерно в 10 раз; отмечалась редкая мутация у коренного населения Эвенкии. Последний эффект, однако, требует дальнейших исследований.

Тщательное исследование и моделирование последствий пролета Тунгусского тела позволило определить его параметры: начальная и конечная массы — 2 Мт и 100 кт, начальная и конечная скорости движения — около 30 и 17 км/с, начальная энергия — порядка 10^{18} Дж, плотность вещества

0.5–1 т/м³, энергия взрыва — $5 \cdot 10^{16}$ Дж. Такая энергия эквивалентна энергии взрыва 12 Мт тротила или энергии 1000 бомб, сброшенных на Хиросиму.

Природа Тунгусского феномена точно не известна. Выдвинуто множество гипотез о его природе.

Первой «гипотезой» было предположение эвенков — очевидцев падения космического тела. Наблюдая за наступившей катастрофой, они посчитали, что ее причиной явилось сошествие на Землю бога Агды — железной птицы, изрыгающей огонь.

В 1908 г. французский исследователь Феликс де Руа предположил, что Земля столкнулась с облаком космической пыли. Аналогичную гипотезу в 1932 г. высказал наш соотечественник В.И.Вернадский — основатель и первый президент Академии наук Украины.

В 1927 г. первоисследователь района тунгусской катастрофы Л.А.Кулик считал, «что выпал рой обломков железного метеорита...».

В 1934 г. английский астроном Ф.Уиппл впервые выдвинул гипотезу о кометной природе Тунгусского феномена. Эту гипотезу поддержал советский астроном И.С.Астапович. В последующие годы кометная гипотеза более обстоятельно была разработана академиком В.Г.Фесенковым — выпускником, а затем и сотрудником Харьковского университета.

В 1975 г. В.П.Стулов под руководством академика Г.И.Петрова попытался создать математическую модель столкновения ядра кометы с Землей. К сожалению, в ее основу авторы положили тот факт, что плотность вещества кометы была около 10 кг/м³. Астрономам известно, что такие «рыхлые» тела не могут долго существовать в Солнечной системе. Поэтому модель Петрова–Стулова представляет лишь академический интерес.

Еще в январе 1946 г. советский писатель А.П.Казанцев, находясь под впечатлением от атомных взрывов над городами Хиросима и Нагасаки (август 1945 г.), опубликовал научно-фантастический рассказ «Взрыв», где описал атомный взрыв межпланетного космического корабля, якобы потерпевшего катастрофу над Сибирью. Эта идея была подхвачена миллионами читателей-дилетантов и оказалась очень живучей (и сегодня находятся студенты, которые доказывают автору справедливость этой «теории»).

Наиболее правдоподобными гипотезами являются следующие: Тунгусское тело — это комета или астероид. Другие гипотезы предполагают, что Тунгусским телом был сгусток антивещества, черная дыра, взрыв металлического водорода, солнечный плазмод, электрический разряд и др.

Большинство ученых придерживается теории о кометной природе, так как она объясняет почти весь комплекс наблюдавшихся эффектов [5]. Отдельные специалисты считают, что Тунгусское тело было все-таки взорвавшимся в атмосфере астероидом [9].

Несомненный вклад в объяснение природы Тунгусского феномена внесли К.П.Станюкович и В.П.Шалимов, которые еще в 1961 г. пришли к выводу, что причиной катастрофы был тепловой взрыв, связанный с переходом кинетической энергии космического тела в тепловую, а также М.А.Цикулин, предложивший в 1960 г. гипотезу о прогрессивном разрушении Тунгусского тела. Последняя гипотеза была существенно развита в 1970–1980 гг. в работах С.С.Григоряна и В.А.Бронштэна [4].

Остальные из перечисленных гипотез оказались недостаточно обоснованными.

Есть и геофизические гипотезы. Они сводятся к тому, что Тунгусский феномен — специфическое землетрясение, извержение вулкана, взрыв природного газа или водородно-кислородной смеси, гигантская шаровая молния.

Есть также фантастические предположения, но они не выдерживают никакой критики. Всего же известно более 120 «гипотез».

Может показаться, что тела, подобные Тунгусскому, слишком редко угрожают человечеству и о них можно не думать. Но это не так. К примеру, 10 августа 1972 г. над США и Канадой со скоростью 15 км/с пронесся астероид диаметром около 80 м. Энергия взрыва была бы эквивалентна 100 Мт (8 тыс. «Хиросим»). Только по счастливой случайности, пролетев над поверхностью Земли 1500 км, астероид вылетел за пределы атмосферы и ушел в космос. Упав на Землю, он вызвал бы разрушения и пожары на площади около 5 тыс. км². При этом число жертв могло составить 0.3–10 млн. человек.

4. ЭФФЕКТЫ СИХОТЭ-АЛИНСКОГО МЕТЕОРИТА

Падение этого метеорита так описал российский астроном Е.Л.Кринов (см., например, [26]).

«В тихое и морозное, почти совершенно безоблачное утро 12 февраля 1947 г. в 10 ч 38 мин по местному декретному времени при полном солнечном освещении на небе появился болид. Сначала он имел вид яркой звезды, но затем быстро превратился в ослепительно яркий огненный шар, вскоре принявший несколько вытянутую форму. Болид стремительно пронесся по небесному своду в направлении приблизительно с севера на юг, оставляя позади себя клубящийся пылевой

след из продуктов разрушения метеорного тела. Болид скрылся за сопками где-то в западных отрогах Сихотэ-Алиня. Во время движения болид дробился, в результате чего на последнем участке его видимой траектории наблюдался рой отдельных частей. Через несколько минут после исчезновения световых явлений раздались сильные удары, похожие на взрывы или стрельбу из тяжелых орудий. За ударами последовал грохот, а затем гул, далеко прокатившийся по тайге и многократно повторенный эхом в отрогах хребта. След, оставшийся на небесном своде после полета болида, в виде гигантской «дымной» полосы был виден в течение всего дня. Он постепенно искривлялся из-за сильных воздушных течений, господствующих в верхних слоях земной атмосферы. Вследствие того, что воздушные течения на разных высотах направлены в разные стороны, след принял зигзагообразную форму. Он, словно сказочный исполинский змей, распростерся на небесном своде. Постепенно слабея и разрываясь на клочья, след исчез только к вечеру... Полет болида продолжался не более 4–5 секунд. Болид наблюдался над территорией радиусом свыше 300 км, а звуковые явления были слышны на еще большем расстоянии от места падения метеоритного дождя.

...При падении метеоритного дождя распахивались двери, вылетали из окон стекла, осыпалась с потолков штукатурка, выбивалось из топившихся печей пламя, вылетала зола с головешками.

Падение метеоритного дождя вызвало панический страх и у животных. Лошади ржали, коровы мычали; они срывались с привязей и в сильном испуге металась во все стороны. Собаки с визгом и лаем забивались под укрытия или убегали из селений в лес.»

Этот метеорит относится к крупнейшим. Его диаметр был примерно равен 3 м, начальная масса — почти 100 т, скорость вхождения в атмосферу — 15 км/с и энергия — порядка 10^{13} Дж. Масса найденных осколков превысила 27 т. Почти столько же вещества было рассеяно в тайге.

Частота падения железных метеоритов, подобных описываемому, составляет 1 раз в 20 лет.

Один из обломков Сихотэ-Алинского метеорита показан на рис. 1. Этот метеорит относился к железным. Поэтому явление назвали выпадением железного дождя. Точнее надо было бы сказать о выпадении железного града или даже железных глыб. Крупные обломки образовали более сотни кратеров и воронок.

Падение Сихотэ-Алинского метеорита не привело к человеческим жертвам. Но так бывает не всегда. За письменную историю человечества многократно отмечались события, когда число жертв составляло единицы, десятки и даже сотни человек. Особенно «кроважатым» было падение метеорита в 1490 г. в Китае. При этом погибло до 10 тыс. человек (см., например, [3]).

5. ЭФФЕКТЫ ВИТИМСКОГО БОЛИДА

Пролет болида над северо-восточной частью Иркутской области (Сибирь) был зафиксирован оптическими и инфракрасными датчиками геостационарной системы контроля космического пространства ВВС США 24 сентября 2002 г. в 16:48:56 мирового времени. Болид был обнаружен на высоте около 62 км, его пролет фиксировался до высоты примерно 30 км [1, 30]. Началу и концу свечения объекта соответствовали координаты 57.91° с.ш., 112.90° в.д. и 58.21° с.ш., 113.46° в.д. Максимум удельной (отнесенной к 1 стерадиану) интенсивности излучения болида составлял $2.4 \cdot 10^{11}$ Вт/стер.

Полет космического тела закончился взрывом. Ему предшествовали нагрев, абляция и дробление метеороида.

Пролет тела вызвал яркое свечение (от белого до красного, а затем бордового), сильный гул, взрыв, генерацию ударной волны, повреждение леса на отдельных участках в зоне шириной 5–7 км и длиной около 50 км вдоль трассы падения. На отдельных участках доля сломанных деревьев достигала 10–15%, на других — не превышала 5% [30].



Рис. 1. Один из обломков Сихотэ-Алинского метеорита

В работе [1] приведены результаты наблюдения за инфразвуковыми и сейсмическими эффектами, последовавшими за пролетом Витимского болида. Авторами [1] по сейсмическим данными оценена высота (27 км) и координаты (58.3° с.ш., 112.8° в.д.) разрушения болида, а по инфразвуковым данным — начальная энергия ($\sim 10^{13}$ Дж) и размеры облака обломков болида (8–9 м).

Добавим, что в [1] анализировались сейсмические сигналы станций, удаленных от эпицентра взрыва на расстояния 140–280 км, и инфразвуковые сигналы станций, удаленных на расстояния 2000–4400 км.

Основные параметры болида, вычисленные автором на основе данных полученных на американском спутнике и свидетельств очевидцев, изложенных в [30], приведены в [10].

Вот какими были впечатления свидетеля пролета болида С.А.Палашова, находящегося на расстоянии около 50 км от траектории тела: *«В 1 час 45 минут выходил на улицу. Было облачно. Вернулся в дом, сел на койку, увидел в окно яркую вспышку. Вспышка белого цвета, смотреть больно. Все небо ровно светилось, было светло, как днем. Освещение можно сравнить со сваркой, только она отдает синим цветом, а тут был чисто белый цвет. Свечение продолжалось секунды три. Потом прошло секунд пять, раздался гром (взрыв) — два разряда, промежуток 1–2 секунды. Дом тряхнуло. Удар был глухой, но громкий»* [30].

Свидетель Е.С.Ярыгин находился на расстоянии около 10 км от проекции на поверхность земли траектории болида. Он сообщил следующее: *«Было видно, как из-за гор на юго-востоке стало подниматься яркое полусферическое свечение. Свет белый, как у сварки, поднимался вверх, а затем стал переходить в красный и бордовый. Были видны «лучики» над поднимающейся полусферой. Свечение залило все небо. Свет был ровный, сплошной, никаких летящих предметов не было видно. Затем все стало затухать и погасло. Секунд через тридцать раздался хлесткий удар, взрыв, хлопок был очень резкий. В доме посыпалась штукатурка, все задвигалось, заходило. Еще до появления свечения возник далекий звук, похожий на гул самолета. Звук шел оттуда, что и свечение, а удар — с противоположной стороны, куда ушло свечение»* [30].

Добавим, что болиды, подобные Витимскому, вторгаются в атмосферу Земли со средней частотой 1 раз в год. Можно только радоваться, что взрывы таких болидов происходили пока над малонаселенными (или необитаемыми) регионами.

6. КОСМИЧЕСКАЯ БОМБАРДИРОВКА ЮПИТЕРА

В июле 1994 г. астрономы стали свидетелями продолжительной (около недели) бомбардировки Юпитера обломками кометы Шумейкеров–Леви 9. Самый большой осколок имел диаметр 2.9 км, наименьший — 0.46 км (см, например, [15, 22, 28]). Им соответствовали объемы около 10 и 0.05 км³, массы — 10 и 0.05 Гт (при плотности вещества, равной 1 т/м³) и кинетические энергии $2.5 \cdot 10^{22}$ и 10^{20} Дж. Наибольшая энергия превышала начальную энергию Тунгусского тела в 25 тыс. раз, наименьшая — в 100 раз. Первоначальный размер космического тела был близок к 10 км, а его кинетическая энергия — к 10^{24} Дж (эта энергия в миллион раз превышала энергию Тунгусского тела). Поскольку и наша планета не застрахована от подобных бомбардировок, эффекты, вызванные бомбардировкой Юпитера, следует рассмотреть несколько подробнее.

Падение 20 обломков космического тела («кометного поезда» — так окрестили его астрономы) на Юпитер представляло собой уникальный эксперимент, поставленный природой 16–22 июля 1994 г. По существу, имело место растянутое по времени высотнo-широтное зондирование Юпитера.

Падение каждого обломка сопровождалось взрывоподобным преобразованием кинетической энергии «кометного вагона» в тепловую и световую энергии. В энергию световой вспышки переходило 0.1–1% кинетической энергии тела. Мощность вспышки составляла около 10^{18} – 10^{20} Вт. Для сравнения укажем, что человечество потребляет мощность порядка 10^{13} Вт.

Горячие продукты взрыва, имеющие температуру в несколько десятков тысяч градусов, образовывали «огненный плюм» («огненное оперение»), представляющий собой высокоскоростной выброс продуктов взрыва. Высота «плюма» достигала 3 тыс. км над верхним слоем облаков.

Взрывы обломков космического тела вызвали полярные сияния в атмосфере Юпитера, значительное увеличение яркости так называемых радиационных поясов Юпитера (поясов, образованных захваченными магнитным полем планеты высокоэнергичными частицами) и другие эффекты.

Кроме того, в атмосфере Юпитера возникли долгоживущие вихревые образования, своеобразные циклоны, имеющие солитоноподобную природу (см., например, [25, 26]). Диаметр наибольшего из них достигал 10 тыс. км (а это близко к диаметру Земли). Уже вечером 17 июля 1994 г. любители астрономии в обыкновенные бинокли или при помощи простейших телескопов наблюдали огромные темные пятна в южном полушарии Юпитера.

Таблица 1. Некоторые характерные астероиды

Название	Год открытия	Масса, кг	Размер, км	Большая полуось орбиты, а.е.	Примечание
Церера	1801	10^{21}	974	2.8	Крупнейшие астероиды
Паллада	1802	$2.5 \cdot 10^{20}$	528	2.8	
Веста	1807	$3 \cdot 10^{20}$	526	2.4	
Юнона	1804	$2 \cdot 10^{19}$	268	2.7	
Матильда	1885	$2 \cdot 10^{17}$	61	2.6	Изображение астероидов получено при помощи космических аппаратов
Ида	1884	10^{17}	58×23	2.9	
Гаспра	1916	10^{16}	$19 \times 12 \times 11$	2.2	
Эрос	1898	$5 \cdot 10^{15}$	$41 \times 15 \times 14$	1.5	Сближается с Землей
Тутатис	1989	$5 \cdot 10^{13}$	$4.6 \times 2.4 \times 2$	0.9	Сближается с Землей
Икар	1949	10^{12}	1.4	1.1	Пересекает орбиту Земли
Касталия	1989	$5 \cdot 10^{11}$	1.8×0.8	0.6	Сближается с Землей

Любопытно, что природный долгоживущий вихрь в атмосфере Юпитера, называемый Большим Красным Пятном и открытый еще Г.Галилеем, ничуть не «пострадал» в процессе космической бомбардировки.

Много сюрпризов преподнесла бомбардировка Юпитера обломками космического тела. Некоторые астрономы даже не уверены, что обломками были части кометы. Анализ спектров излучения показал, что в обломках отсутствовали такие молекулы, как CN, C₂ и H₂O. А это наводит на мысль, что космическое тело могло иметь астероидное происхождение.

7. АТАКА ЗЕМЛИ АСТЕРОИДАМИ И КОМЕТАМИ

Бомбардировка Земли астероидами. Перечень наиболее массивных астероидов приведен в табл. 1. И хотя самые крупные из них обладают гигантскими энергиями ($10^{26} - 10^{30}$ Дж), они не представляют угрозы для нашей планеты, так как их траектории удалены от Земли. Более мелкие астероиды (Эрос, Тутатис, Икар, Касталия) способны приближаться к Земле.

В последние десять лет астрономы обнаружили большое количество малых космических тел, орбиты которых проходят вблизи орбиты Земли. Они представляют большую опасность, так как их орбиты проходят значительно ближе к Земле, чем орбиты крупнейших астероидов. Диаметр этих космических тел не превышает нескольких единиц километров. Ученые США, России, Украины и других стран всерьез обсуждают возможность предотвращения столкновения Земли с этими объектами. Для этого может пригодиться как ракетно-ядерное оружие, так и космическое оружие, разрабатываемое для так называемых «звездных войн» (см., например, [2, 3, 8–10, 13, 14, 16–18, 20, 23]).

Пролет в атмосфере и столкновение с Землей крупного космического тела сопровождается целым комплексом физических процессов: мощнейшим взрывом, землетрясением, генерацией мощного светового импульса и сильной воздушной ударной волны, образованием плазменного факела («плюма»), выбросом в атмосферу плазмы, пыли и другими процессами. При падении тела в океан (в море) возникают гигантские океанические волны и цунами (см., например, [24]).

При высоких температурах идут химические реакции, приводящие к образованию закиси азота NO. Последняя, вступая в реакцию с озоном, способна уничтожить защитный озоновый слой. Кроме того, NO и NO₂ при взаимодействии с водой образуют азотную и азотистую кислоты, которые выпадут на Землю вместе с дождями.

Световое излучение неизбежно приведет к первичным крупномасштабным пожарам. Воздушная ударная волна вызовет невиданные разрушения на значительных удалениях от космического тела.

Энергетические параметры световой вспышки, площади зон разрушений взрывной волной, а также относительные площади разрушений приведены в табл. 2.

Следует иметь в виду, что разрушения обычно сопровождаются вторичными пожарами и взрывами горючих материалов. Размер зоны вторичных пожаров близок размерам зоны разрушения. Как видно из табл. 2, при диаметре астероида больше 20 км процессы пожаров и разрушений примут глобальный характер. При падении астероида размером 1–3 км площадь разрушения сопоставима с площадью континента. При меньших размерах небесного тела катастрофа имеет региональный характер.

Пожары приводят к выбросу больших масс вредных химических веществ, в том числе и окислов серы, углерода и азота. Окислы, вступая в реакции с водой, образуют кислоты, выпадающие на Землю в виде кислотных дождей.

Ударяясь с огромной скоростью о грунт планеты, тело проникает в него на глубину, примерно равную диаметру астероида (тела). Скорость и кинетическая энергия астероида уменьшаются до

Таблица 2. Энергетические параметры световой вспышки, площади зоны разрушений, вызванных падением астероида

d_a , км	0.03	0.1	0.3	1	3	10	30	100
P_i , Вт	$4 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{18}$	$4 \cdot 10^{19}$	$4 \cdot 10^{20}$
E_i , Дж	$4 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{18}$	$4 \cdot 10^{19}$	$4 \cdot 10^{20}$
η_i	$7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
S_p , км ²	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
S_p/S_3	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0.2	2	20

Примечание: здесь d_a — диаметр астероида, P_i и E_i — мощность и энергия излучения света, η_i — доля кинетической энергии, преобразуемая в энергию световой вспышки, S_p — площадь зоны разрушений, $S_3 \approx 5 \cdot 10^8$ км² — площадь поверхности Земли.

Таблица 3. Экологические эффекты падения на Землю крупных космических тел (в скобках приведена концентрация пыли менее 1 мкм)

Диаметр, км	0.03	0.1	0.3	1	3	10	30	100
Масса, кг	$2 \cdot 10^7$	$7.5 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{10}$	$7.5 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{13}$	$7.5 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{16}$	$7.5 \cdot 10^{17}$
Энергия, Дж	$3 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{17}$	$8 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{20}$	$8 \cdot 10^{21}$	$3 \cdot 10^{23}$	$8 \cdot 10^{24}$	$3 \cdot 10^{26}$
Глубина воронки, км	0.03	0.1	0.3	1	3	10	30	80
Диаметр воронки, км	0.3	1	3	10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^2$
Средний нагрев атмосферы, К	10^{-6}	$3 \cdot 10^{-5}$	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-2}$	1	30	10^3	$3 \cdot 10^4$
Масса пыли, кг	$9 \cdot 10^6$ ($9 \cdot 10^5$)	$3 \cdot 10^8$ ($3 \cdot 10^7$)	$9 \cdot 10^9$ ($9 \cdot 10^8$)	$3 \cdot 10^{11}$ ($3 \cdot 10^{10}$)	$9 \cdot 10^{12}$ ($9 \cdot 10^{11}$)	$3 \cdot 10^{14}$ ($3 \cdot 10^{13}$)	$9 \cdot 10^{15}$ ($9 \cdot 10^{14}$)	$3 \cdot 10^{17}$ ($3 \cdot 10^{16}$)
Средняя концентрация пыли, кг/м ³	$9 \cdot 10^{-13}$ ($9 \cdot 10^{-14}$)	$3 \cdot 10^{-11}$ ($3 \cdot 10^{-12}$)	$9 \cdot 10^{-10}$ ($9 \cdot 10^{-11}$)	$3 \cdot 10^{-8}$ ($3 \cdot 10^{-9}$)	$9 \cdot 10^{-7}$ ($9 \cdot 10^{-8}$)	$3 \cdot 10^{-5}$ ($3 \cdot 10^{-6}$)	$9 \cdot 10^{-4}$ ($9 \cdot 10^{-5}$)	$3 \cdot 10^{-2}$ ($3 \cdot 10^{-3}$)

3–4 км/с и на порядок соответственно. Оставшаяся энергия идет на образование воронки диаметром, раз в десять превышающем диаметр астероида, и на выброс пыли в атмосферу. Пример кратера, образованного взрывом астероида, показан на рис. 2.

Важно, что масса раздробленного вещества в десятки раз превышает массу космического тела. Масса выброшенной пыли близка к массе астероида, в том числе масса пылинок с размером менее одного миллиметра составляет десятки процентов. Это приводит к значительному запылению атмосферы, резкому уменьшению доли солнечной энергии, поступающей на поверхность планеты, и возникновению «астероидной» зимы.

Добавим, что пожары сопровождаются выбросом сажи, эффективно поглощающей солнечное излучение и усиливающей эффект «астероидной» зимы.

В результате такой зимы температура воздуха понижается на единицы — десятки градусов, и это может продолжаться от нескольких недель до многих лет в зависимости от энергии астероида. Дело в том, что пыль выбрасывается на большие высоты (10–100 км и выше), а оседает она очень медленно (со скоростью 10^{-7} – 10^{-3} м/с).

Заметим, что «астероидная» зима наступит не сразу, а через много часов или даже суток после столкновения. Сначала температура атмосферы должна увеличиться, так как значительная часть кинетической энергии переходит в энергию ударной волны, а она вызывает нагрев атмосферы.

Результаты оценок нагрева атмосферы и других параметров приведены в табл. 3.

При проведении расчетов предполагалось, что космическое тело имеет форму шара; плотности земного грунта и вещества тела примерно одинаковы. В скобках указаны эффекты мелкой пыли



Рис. 2. Кратер Барринджера (штат Аризона, США)

Таблица 4. Параметры астероидов и столкновений космических тел с Землей

Диаметр, км	0.1	1	10	10^2	$2.4 \cdot 10^2$
Масса, Мт	0.7	750	$7.5 \cdot 10^5$	$7.5 \cdot 10^8$	10^{10}
Плотность потока, $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-27}$	$3.1 \cdot 10^{-29}$	$4.0 \cdot 10^{-31}$	$5.1 \cdot 10^{-33}$	10^{-33}
Частота столкновений с Землей, год^{-1}	$3.8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$6.3 \cdot 10^{-9}$	$8.3 \cdot 10^{-11}$	$1.6 \cdot 10^{-11}$
Интервал времени между столкновениями, год	$2.6 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^6$	$1.6 \cdot 10^8$	$1.2 \cdot 10^{10}$	$6.3 \cdot 10^{10}$
Вероятность столкновения с Землей	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$3.8 \cdot 10^{-7}$	$4.9 \cdot 10^{-9}$	$9.7 \cdot 10^{-10}$
Вероятность падения на крупный город	$4.6 \cdot 10^{-9}$	$6.0 \cdot 10^{-11}$	$7.6 \cdot 10^{-13}$	$9.8 \cdot 10^{-15}$	$1.9 \cdot 10^{-17}$

Примечание: вероятности столкновения с Землей и падения на крупный город (площадью 1000 км^2) относятся к интервалу времени, равному 60 годам, т.е. средней продолжительности жизни человека.

Таблица 5. Параметры астероидов и столкновений космических тел с Землей

Причина смерти	Вероятность события	Количество потерь, чел	Степень риска
Автокатастрофа	$3 \cdot 10^{-2}$	1	$3 \cdot 10^{-2}$
Убийство	$3 \cdot 10^{-2}$	1	$3 \cdot 10^{-2}$
Пожар	10^{-3}	1	10^{-3}
Поражение электрическим током	$2 \cdot 10^{-4}$	1	$2 \cdot 10^{-4}$
Авиакатастрофа	$5 \cdot 10^{-6}$	10–100	$5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$
Наводнение	$8 \cdot 10^{-5}$	0.3	$3 \cdot 10^{-5}$
Смерч	$2 \cdot 10^{-5}$	1	$2 \cdot 10^{-5}$
Укус животного	10^{-5}	1	10^{-5}
Болезнь	$3 \cdot 10^{-6}$	1	$3 \cdot 10^{-6}$
Падение астероида:			
а) диаметр 0.1 км	$4.6 \cdot 10^{-9}$	10^5	$5 \cdot 10^{-4}$
б) диаметр 1 км	$5.9 \cdot 10^{-11}$	10^7	$6 \cdot 10^{-4}$
в) диаметр 10 км	$3.8 \cdot 10^{-13}$	10^9	$4 \cdot 10^{-4}$

Примечание: степень риска равна произведению вероятности события на количество потерь, которое вычислено по площади разрушений и средней плотности населения на суше (60 чел/км^2).

(размер менее $10^{-8} - 10^{-6} \text{ м}$), которая задерживается в стратосфере на длительное время и рассеивает солнечное излучение.

Теоретически, падение температуры суши в ходе «астероидной» зимы может достигать примерно 50 градусов. Реально величина уменьшения температуры будет почти в три раза меньше, так как воздух над океаном практически не охлаждается из-за большой теплоемкости последнего.

Анализ табл. 3 позволяет утверждать, что столкновение Земли с космическим телом диаметром более нескольких километров будет иметь для нее непоправимые последствия. Скорее всего, биосфера безвозвратно погибнет, не выдержав сначала жары, а затем сильного и продолжительного похолодания («астероидной» зимы). При меньших размерах космических тел последствия для Земли — катастрофические, но не необратимые.

Вероятность столкновения космического тела с Землей очень мала (табл. 4). Еще меньше вероятность падения тела на крупный город, например, с населением 1 млн. человек и площадью около 1000 км^2 . Результаты оценки последней вероятности приведены также в табл. 4. Ее величина очень мала, но степень риска погибнуть в течение жизни от падения астероида весьма значительна для жителей крупного города (табл. 5). Степень риска оказалась такой высокой потому, что она является произведением вероятности падения космического тела на крупный город на среднее число жертв. Последняя величина определяется средней плотностью населения и площадью разрушений, которая увеличивается с ростом размера астероида (см. табл. 2). Приведенные в таблице результаты близки к данным работы [32].

Бомбардировка Земли кометами. В принципиальном плане эффекты падения ядер комет мало чем отличаются от эффектов, сопровождающих падения астероидов. Конечно, следует иметь в виду, что плотность кометного вещества составляет $0.5-1 \text{ т/м}^3$, а плотность астероидального вещества изменяется в пределах $3-8 \text{ т/м}^3$. Кроме того, относительная скорость астероидов находится в пределах $11-30 \text{ км/с}$. Относительная скорость комет может достигать 70 км/с . И плотность вещества, и относительная скорость определяет кинетическую энергию космического тела, энергию взрыва и энергетику всех последующих процессов.

При прочих равных условиях кинетическая энергия кометы диссипирует на больших высотах. Поэтому при пролете ядер комет световой вспышкой поражаются большие площади. В тоже время

роль ударной волны при падении комет менее существенна.

Немаловажно и то, что химический состав комет и астероидов значительно отличаются.

8. ЗАЩИТА ЗЕМЛИ ОТ КОСМИЧЕСКОЙ УГРОЗЫ

Чем чреваты катастрофические падения астероидов и комет на поверхность Земли обсуждалось выше. А теперь попытаемся выяснить, а можно ли предотвратить такую катастрофу? Можно ли создать противоастероидную (противокометную) защиту Земли (ПАЗЗ)? Позволяют ли это сделать современные технологии?

Автор уверен, что на поставленные вопросы можно дать положительный ответ. ПАЗЗ должна создаваться всеми развитыми государствами, объединив их ресурсы и усилия широкого круга специалистов естественнонаучного, технического и гуманитарного профилей, по аналогии с противоракетной и противокосмической обороной.

Прежде всего, ПАЗЗ должна быть многоэшелонированной. Она должна включать обнаружение, идентификацию, сопровождение и перехват объектов на дальних, средних и малых подступах к Земле (на расстояниях порядка 1, 0.1 и 0.01 а.е.). Система ПАЗЗ должна включать в себя наземно-космическую службу наблюдения (обнаружения, идентификации и сопровождения), наземно-космическую службу перехвата, наземную службу управления.

Для решения проблемы ПАЗЗ должны использоваться космические обсерватории, вынесенные далеко за пределы Земли, наземные обсерватории, существующие и перспективные радиолокационные системы предупреждения о ракетном нападении (их дальность действия достигает 100 тыс. км), ракетно-космические средства и ядерные устройства.

ПАЗЗ может быть реализована в пассивном или активном режимах. В первом случае, после установления степени грозящей от космического тела опасности и района его падения предпринимаются меры по эвакуации населения и защите особо важных объектов.

Активный режим предполагает воздействие на космическое тело. Оно может осуществляться следующими способами [13, 14].

Удар космического аппарата. При этом астероиду (ядру кометы) сообщается импульс скорости, в результате чего тело отклоняется и проходит мимо Земли. Масса ударника, которую можно уже сегодня вывести в космос, не превышает нескольких десятков тонн.

Двигатели большой тяги. Двигатель и топливо доставляются на угрожающее Земле тело. После включения двигателя телу сообщается импульс скорости, уводящей астероид или комету в сторону от Земли. Преимущество этого способа заключается в гибкости воздействия — можно менять направление импульса скорости, корректировать время включения двигателя, его тягу и т. д. Недостаток состоит в меньшей по сравнению с ударом эффективности воздействия.

Электрореактивный двигатель малой тяги. При этом предполагается установка на космическое тело одного или нескольких двигателей с источником энергии от ядерного реактора или солнечных батарей. Этот метод также уступает ударному методу.

Солнечный парус. Предполагается установка паруса на космическом теле. Необходимое ускорение создается за счет отражения солнечных лучей. Достоинством этого метода является использование энергии (точнее, импульса) солнечных лучей и гибкость в управлении процессом изменения орбиты. Из-за малого ускорения для существенной эволюции орбиты тела потребуются многие годы и даже тысячи лет. Поэтому метод пригоден лишь для отклонения космических тел, периодически сближающихся с Землей.

«Окрашивание» поверхности космического тела. В этом случае предполагается изменение светотрагательных характеристик поверхности астероида (ядра кометы). Заметные изменения параметров орбиты достигаются за много тысяч и даже миллионов оборотов тела вокруг Солнца, на что уйдут десятки — сотни тысяч лет.

Наиболее эффективным из перечисленных способов воздействия оказывается ударный способ [13].

Лазерный (СВЧ) луч. Лазерный метод обсуждается в работе [14]. В ней показано, что для эффективного воздействия на космические тела диаметром сотни метров необходимы электрическая мощность энергосистемы сотни гигаватт, длительность воздействия — от нескольких часов до суток. Наибольшая дальность воздействия лазера составляет 0.6–2 млн. км. Начальный диаметр лазерного пучка должен быть порядка десятков метров, площадь солнечных батарей — около 100–1000 км².

Расчеты автора показали, что для воздействия пучком радиоволн СВЧ-диапазона потребуются пока не достижимые мощности и гигантские (1–10 км) антенны.

Термоядерный взрыв. При помощи мощного взрыва можно отклонить или разрушить космическое тело. Этот способ является наиболее радикальным. Он незаменим при обнаружении угрожающего

столкновением объекта на ближних подступах. На реализацию других способов просто не остается времени. Для разрушения тел километрового размера потребуется ядерный заряд в 1 Мт, а при его размере 4–5 км — около 100 Мт.

Большие тела потребуют применения более мощных зарядов. Существующие технологии позволяют создать термоядерный заряд в 1 Гт объемом 50 м³ и массой около 100 т. Для доставки такого заряда потребуются ракеты класса «Энергия», которая была способна выводить на низкую орбиту полезную нагрузку до 120 т. В США имеется система «Space Shuttle», которая доставляет на такую же орбиту нагрузку массой около 100 т.

Заряд в 1 Гт способен разрушить объект размером около 10 км, а именно такие объекты могут вызвать глобальную катастрофу и погубить всю цивилизацию.

Таким образом, человечество не является беззащитным перед старой, но теперь остро осознанной угрозой космического происхождения. Движение практически любого астероида или ядра кометы может быть скорректировано либо оно может быть разрушено. Важно иметь в виду, что обломки космического тела не должны поразить Землю. Дело в том, что степень наносимого ущерба в этом случае может быть намного больше, чем от исходного, неразрушенного, тела [17].

Хочется верить, что разум и сила человечества спасут нашу уникальную цивилизацию.

9. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В ходе своей эволюции Земля подвергалась и подвергается сейчас непрерывной бомбардировке космическими телами. Размеры последних изменялись от долей миллиметров (пылинки) до единиц километров (астероиды и ядра комет). Чем больше размер космического тела, тем реже такие тела сталкиваются с нашей планетой. Обломки астероидов с размерами Тунгусского тела «посещают» Землю один раз в 100–1000 лет.

2. Тайна Тунгусского феномена на сегодня до конца не разгадана. Одни астрономы утверждают, что это было ядро кометы, другие — каменный метеороид. Первое из утверждений более предпочтительное, так как оно объясняет почти весь комплекс наблюдавшихся процессов.

3. Космический объект типа Тунгусского тела, взрываясь над мегаполисом, способен его полностью уничтожить. Число жертв при этом будет исчисляться миллионами человек.

4. Тела, аналогичные Витимскому, вторгаясь в атмосферу Земли в среднем один раз в год, способны вызвать разрушение отдельных построек, повредить лесонасаждения, сады и даже травмировать человека.

5. Падение на Землю космических тел размерами 0,3–1, 1–3 и 3–10 км приводит соответственно к региональной, межконтинентальной и глобальной катастрофам. В первом случае может быть уничтожена отдельная страна или несколько стран, во втором — десятки стран, в третьем — земная цивилизация и биосфера в целом.

6. Вероятность падения достаточно крупного космического тела на большой город очень незначительна (10^{-13} – 10^{-9}). Но степень риска стать жертвой такого события из-за значительного скопления людей очень велика — больше, чем степень риска погибнуть в авиакатастрофе, от удара электрического тока, наводнения, смерча, укуса животного и т.п.

7. В настоящее время Земля и наша цивилизация не беззащитны перед угрозой из космоса. Человечество владеет энергией космических масштабов — термоядерным оружием — и принципиально способно отразить атаку из космоса.

8. Для защиты землян от падения крупных космических тел необходимо создать многоэшелонированную (т.е. дальнего, среднего и ближнего обнаружения и перехвата) противоастероидную и противокometную оборону. Всеми необходимыми технологиями и компонентами человечество располагает уже сейчас. Необходимо полное понимание жителями планеты масштабов угрозы и тесное международное сотрудничество.

1. Адушкин В.В., Попова А.П., Рыбнов Ю.С., Кудрявцев В.Н., Мальцев А.Л., Харламов В.А. Геофизические эффекты Витимского болида 24.09.2002 г. // Доклады академии наук. — 2004. — **397**, № 5. — С. 685 — 688.
2. Алимов Р.В., Дмитриев Е.В. Противоастероидная защита Земли // Природа. — 1995. — № 6. — С. 94–101.
3. Багров А.В., Барабанов С.И., Болгова Г.Т., Мишиша А.М., Рышлова Л.В., Смирнов М.А. Угроза с неба: рок или случайность? — М.: Космосинформ, 1999. — 214 с.
4. Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
5. Бронштэн В.А., Зоткин И.Т. Тунгусский метеорит: осколок кометы или астероида? // Астрономический вестник. — 1995. — **29**, № 3. — С. 278–283.
6. Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. — М.: Русская панорама, 2004. — 372 с.

7. *Войцеховский А.И.* Что это было? Тайна Подкаменной Тунгуски. — М.: Знание, 1991. — 48 с.
8. Всероссийская конференция «Астероидно-кометная опасность – 2005» (АКО-2005). Материалы конференции. — СПб.: ИПА РАН, 2005.
9. *Герценштейн М.Е., Клавдиев В.В.* Основные идеи создания системы защиты Земли от падения астероидов // Электромагнитные волны и электронные системы. — 1999. — **4**, № 6. — С. 33–36.
10. *Зайцев А.В.* Защита Земли от астероидно-кометной опасности // Земля и Вселенная. — 2003. — № 2. — С. 17–27.
11. *Иванов К.Г.* Геомагнитные явления, наблюдавшиеся в Иркутской магнитной обсерватории после взрыва Тунгусского метеорита // Метеоритика. — 1961. — Вып. 21. — С. 46–48.
12. *Иванов К.Г.* О природе воздействия Тунгусского падения на верхнюю атмосферу, геомагнитное поле и свечение ночного неба // Геомагнетизм и аэрономия. — 1967. — **7**, № 6. — С. 1033–1038.
13. *Ивашкин В.В., Смирнов В.В.* Качественный анализ некоторых методов уменьшения астероидной опасности для Земли // Астрономический вестник. — 1993. — **27**, № 6. — С. 46–68.
14. *Ивашкин В.В.* О возможности использования лазерного воздействия на сближающееся с Землей небесное тело // Доклады академии наук. — 2004. — Т. 397. — С. 486–489.
15. *Клумов Б.А., Кондауров В.И., Конюхов А.В., Медведев Ю.Г., Сокольский А.Г., Утюжков С.В., Фортон В.Е.* Столкновение кометы Шумейкер–Леви 9 с Юпитером: что мы увидим? // УФН. — 1994. — **164**, № 6. — С. 617–629.
16. *Микиша А.М.* Столкновение небесного тела с Землей. Предотвращение катастрофы // Земля и Вселенная. — 1995. — № 4. — С. 21–29.
17. *Плотников П.В., Шуриалов Л.В.* Чем чреват град из космоса? // Природа. — 2001. — № 5. — С. 11–18.
18. *Сазонов В.С., Яковлев М.В.* О взрывном способе предотвращения столкновений с Землей астероидно-кометных тел при их позднем обнаружении // Астрономический вестник. — 2006. — **40**, № 1. — С. 77–88.
19. *Светцов В.В.* Куда делись осколки Тунгусского метеороида? // Астрономический вестник. — 1996. — **30**, № 5. — С. 427–441.
20. *Соболев И.* Отступить некуда, позади — Земля! // Техника молодежи. — 2002. — № 1. — С. 18–19., С. 32–36.
21. *Стулов В.П.* Крупные болиды: испарение и дробление // Астрономический вестник. — 2006. — **40**, № 3. — С. 220–229.
22. *Фортон В.Е., Гнедин Ю.Н., Иванов М.Ф., Ивлев А.В., Клумов Б.А.* Столкновение кометы Шумейкер–Леви 9 с Юпитером: что мы увидели? // УФН. — 1996. — **166**, № 4. — С. 392–422.
23. *Черевков К.В.* Угрозы человечеству на пороге XXI века и возможные пути их парирования // Успехи современной радиоэлектроники. — 1997. — № 6. — С. 77–79.
24. *Черногор Л.Ф.* Цунами — глобальная природная катастрофа // Universitates. — 2005. — № 1. — С. 22–35.
25. *Черногор Л.Ф.* Нелинейность как основа новой научной картины мира // Universitates. — 2006. — № 4. — С. 40–51.
26. *Черногор Л.Ф.* Естествознание. Интегрирующий курс. — Х.: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2007. — 536 с.
27. *Черногор Л.Ф.* Физические процессы, сопутствовавшие пролету Витимского болида 24 сентября 2002 г. // Вісник Астрономічної школи. — 2009. — **6**, № 1. — С. —. 43
28. *Чурюмов К.И.* Катастрофа на Юпитере 1994 года // Земля и Вселенная. — 1996. — № 1. — С. 12–28.
29. *Шувалов В.В., Трубецкая И.А.* Гигантские болиды в атмосфере Земли // Астрономический вестник. — 2007. — **41**, № 3. — С. 241–251.
30. *Язев С.А., Антипин В.С.* По следам Витимского болида // Земля и Вселенная. — 2004. — № 5. — С. 59–72.
31. *Brown P., Spalding R.E., ReVelle D.O., Tagliaferri E.* The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth // Nature. — 2002. — **420**. — P. 294–296.
32. *Chapman C.R., Morrison D.* Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing and hazard // Nature. — 1994. — **367**. — P. 33–40.
33. *Hills J.G., Goda P.* The fragmentation of small asteroids in the atmosphere // The Astronomical Journal. — 1993. — **105**, № 3. — P. 1114–1144.

Поступила в редакцию 12.09.2008